



**PENGARUH C/N RATIO PADA PRODUKSI BIOGAS DARI DAUN
ECENG GONDOK DENGAN METODE *LIQUID ANAEROBIC
DIGESTION (L-AD)***

Galih Munkar^{*)}, Syafrudin^{)}, Winardi Dwi Nugraha^{**)}**

Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
Jl. Prof. H. Sudarto, SH Tembalang, Semarang, Indonesia, 50275
email: galihmunkar@gmail.com

Abstrak

Liquid Anaerobic Digestion (L-AD) umumnya terjadi pada kondisi dengan konsentrasi solid antara 0,5% dan 15%. Sebaliknya, *Solid State Anaerobic Digestion (SS-AD)* terjadi pada konsentrasi padat lebih tinggi dari 15%. Dalam penelitian ini, pengaruh *C/N Ratio* untuk produksi biogas dari eceng gondok dengan metode *Liquid Anaerobic Digestion (L-AD)*. Skala laboratorium dari pencernaan anaerobik digunakan dalam penelitian ini dioperasikan dalam sistem batch dan pada suhu kamar. Konsentrasi Total Padatan yang ditetapkan sebesar 15. Rasio C/N bervariasi dari 20, 25, 30, dan 35. Biogas yang dihasilkan diukur dengan menggunakan metode perpindahan air setiap dua hari. Hasil penelitian menunjukkan produksi biogas tertinggi diperoleh pada Rasio C/N 30. Produksi biogas spesifik pada C/N dari 20, 25, 30, dan 35 adalah 127,8106509; 127,0340237; 157,5443787; dan 129,6597633 ml/gr TS. Kebutuhan penelitian lebih lanjut untuk dipelajari adalah optimasi konsentrasi nitrogen.

Kata kunci: Biogas, rasio C/N, Eceng Gondok, *Liquid Anaerobic Digestion (L-AD)*

Abstract

[The Influence of C/N Ratio to Biogas Production from Water Hyacinth Leaves during Liquid Anaerobic Digestion (L-AD)]. Liquid anaerobic digestion (L-AD) handles feed stocks with solid concentrations between 0.5% and 15%. In contrast, Solid-state anaerobic digestion (SS-AD) generally occurs at solid concentrations higher than 15%. In this study, the effect of Ratio C/N to biogas production from water hyacinth by liquid anaerobic digestion (L-AD) was investigated. The laboratory scale of anaerobic digestions used in this experiment was operated in batch system and at room temperature. Total solid (TS) content was set at 15. C/N ratio was varied from 20, 25, 30, and 35. Biogas produced was measured by using water displacement method every two days. The result showed the highest biogas production was obtained at C/N ratio of 30. Specific biogas production on C/N ratio of 20, 25, 30, and 35 were 127,8106509; 127,0340237; 157,5443787; dan 129,6597633 ml/gr TS, respectively. The further research need to be studied was optimization of nitrogen content.

Keywords: biogas production; C/N ratio; water hyacinth; liquid anaerobic digestion.

PENDAHULUAN

Peningkatan jumlah penduduk mengakibatkan tingkat konsumsi energi meningkat, sedang sumber energi fosil terbatas, sehingga perlu usaha mendapatkan energi terbarukan. Di Indonesia minyak dan gas merupakan energi paling penting menunjang kehidupan (Budiyo dkk, 2012). Kebutuhan energi untuk sektor industri pada tahun 2025 terjadi peningkatan sekitar 55 persen dari jumlah total kebutuhan energinya. Di tahun tersebut, industri akan membutuhkan gas alam sebanyak 1.553 juta mmbtu dan batubara sebanyak 53,71 juta ton (Priyanto, 2014). Salah satu energi alternatif yang cocok dan dapat diproduksi di Indonesia adalah biogas. Sumber energi dari biogas ini ada beberapa macam antara lain dari kotoran ternak, jerami padi, eceng gondok, limbah industri tahu, bungkil jarak pagar, limbah kelapa sawit, sampah organik dan berbagai sumber yang lain (Wahyuni, 2009). Biogas dapat digunakan sebagai bahan bakar kendaraan serta untuk pembangkit listrik dan panas (Radjaram and Saravanane, 2011). Upaya pemerintah Indonesia dalam menghadapi isu energi ini adalah dengan menerbitkan UU No 5/2006 tentang penggunaan energi baru dan terbarukan. Dalam UU ini, pemerintah menargetkan untuk memanfaatkan sumber energi baru dan terbarukan sebesar 17% dari bauran energi nasional pada tahun 2025 dari saat ini yang hanya 5%. Seiring dengan perkembangan teknologi dan potensi sumber daya alam, maka target ini dinaikkan menjadi 25% dalam visi baru yang disebut sebagai visi 25/25 (BP-PEN, 2006).

Perkembangbiakannya yang demikian cepat menyebabkan tanaman eceng gondok telah berubah menjadi tanaman gulma perairan. Pertumbuhan eceng gondok yang sangat cepat juga menimbulkan berbagai masalah (Oshawa dan Risdiono, 1977 dalam Astuti, 2013). Eceng gondok yang mengandung kadar air yang besar di

dalam tubuhnya yaitu sekitar 90% merupakan suatu keuntungan dalam memanfaatkan sebagai sumber biogas melalui proses peragian (Fermentasi) dengan bantuan bakteri metan disamping angka rasio kandungan senyawa karbon dan nitrogen yang tinggi yakni 30-35 (National Academy of Science, 1976). Menurut Fry (1974), perbandingan C/N dari bahan organik sangat menentukan aktivitas mikroba dan produksi biogas.

NAS (1976) dalam Kristanto dkk. (2003) bahwa eceng gondok mampu tumbuh dengan cepat, yaitu dari dua induk dalam 23 hari dapat menghasilkan 30 anakan dan 1.200 anakan dalam empat bulan dengan produksi 470 ton/ha. Lebih lanjut Slamet dkk. (1975) dalam Abdullah (2014) melaporkan bahwa produksi biomas eceng gondok di Rawa Pening dapat mencapai 20-30,5 kg/m atau 200 – 300 ton/ha. Dilaporkan bahwa produksi biomassa eceng gondok di Rawa Pening dapat mencapai 20 – 30,5 kg/m² atau 200 – 300 ton/ Ha (Sittadewi, 2007). Hasil analisis kimia eceng gondok dalam keadaan segar diperoleh bahan organik 36,59%, dan C-organik 21,23%. (Wardini, 2008). Sedangkan menurut Rochyati (1998), kandungan kimia pada tangkai eceng gondok segar adalah air 92,6%, abu 0,44%, serat kasar 2,09%, karbohidrat 0,17%, lemak 0,35%, protein 0,16%, fosfor 0,52%, kalium 0,42%, klorida 0,26%, alkanoid 2,22%, dan pada keadaan kering eceng gondok mempunyai kandungan selulosa 64,51%, pentosa 15,61%, silika 5,56%, abu 12% dan lignin 7,69%.

Anaerobic Digestion dapat dioperasikan pada konsentrasi total padatan yang berbeda. Proses AD dengan TS kurang dari 15% diklasifikasikan sebagai liquid anaerobic digestion (L-AD), yang cocok untuk limbah dengan kandungan air tinggi seperti limbah lumpur dan limbah makanan (Li *et al.*, 2011a). Sehingga L-AD membutuhkan air yang banyak untuk menangani limbah rendah air

seperti biomassa yang mengandung lignoselulosa. Sebaliknya, *solid state anaerobic digestion* (SS-AD) beroperasi pada TS lebih dari 15% sehingga lebih cocok untuk mencerna lignoselulosa pada biomassa (Li *et al.*, 2011a; Yang *et al.*, 2015).

Aktivitas mikroorganisme yang berperan selama proses fermentasi sangat tergantung dari rasio C/N. Pada *anaerobic digestion* rasio C/N optimal sekitar 20-30 (Li *et al.*, 2011a). Rasio C/N tinggi pada bahan organik akan menyebabkan produksi metana yang rendah. Pasalnya, bahan dengan C/N tinggi hanya mengandung nitrogen dengan kadar yang rendah. Hal tersebut menyebabkan konsumsi nitrogen yang cepat oleh bakteri metanogen dan mengakibatkan *yield* biogas turun karena kurangnya nitrogen yang tersedia untuk pertumbuhan bakteri (Teghammar, 2013).

Manzoni *et al.* (2010) telah menunjukkan bahwa variabilitas C:N dari bahan, sebagian besar berkurang dengan penguraian karbon untuk mengurangi konsentrasi nitrogen awal. Pertumbuhan nitrogen (N) enceng gondok yang positif terkait dengan N kadar air (Sastroutomo *et al.*, 1978; Taheruzzaman dan Kushari, 1989). Namun, konsentrasi unsur hara tidak dapat menurun tanpa batas, dan sebagian zat seperti N akan hilang dengan jaringan yang menua (Arts, 1996).

METODE PENELITIAN

Penelitian ini adalah jenis penelitian eksperimental laboratoris. Penelitian dilakukan di Laboratorium Pengolahan Limbah, Teknik Kimia, Universitas Diponegoro selama bulan Desember 2016 - Maret 2017.

Uji Kandungan TS Eceng Gondok

Analisis Kandungan total padatan (*total solid/TS*) dengan metode standar APHA

- Cawan dikeringkan pada temperatur 103-105°C selama 1 jam, kemudian didinginkan dan disimpan pada

desikator sampai cawan akan digunakan.

- Berat cawan ditimbang dan dicatat.
- *Sample* dimasukkan ke cawan sebanyak 25-50 g dan ditimbang, kemudian dikeringkan di dalam oven pada temperatur 103-105°C selama 1 jam.
- *Sample* yang telah dikeringkan kemudian didinginkan pada desikator dan ditimbang sampai beratnya berkurang 4% atau 50 mg.

$$\% \text{ total solids} = \frac{(A - B) \times 100}{C - B}$$

Keterangan:

A = berat *sample* yang telah dikeringkan +

cawan (mg)

B = berat cawan (mg)

C = berat *sample* basah + cawan (mg)

Tahap Persiapan

- Alat dipersiapkan dan dirancang sesuai dengan variabel penelitian.
- Ambil daun eceng gondok yang memiliki diameter 10-15 cm.
- Memotong daun dengan panjang 1 cm dan timbang masing-masing sesuai dengan jumlah perbandingan sebanyak 200 gram untuk 1:1 (Darnengsih, 2016).

Memasukkan dalam wadah sebanyak jumlah variabel total (8 reaktor dengan 4 variabel yang dibuat duplo).

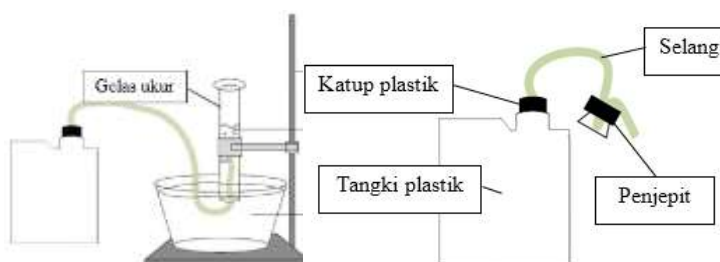
Operasional Penelitian

- Masukkan eceng gondok dan rumen sapi dimasukkan ke dalam biodigester dengan perbandingan eceng gondok dengan rumen sapi sesuai variasi yang telah ditentukan, masing-masing biodigester.
- Masukkan mikronutrien (urea) sesuai kebutuhan rasio C:N

- Tunggu proses fermentasi sehingga biogas terbentuk.
- Ukur volume biogas yang terbentuk setiap dua hari sekali hingga biogas tidak dihasilkan kembali.

Tabel 1. Kebutuhan Bahan Penelitian

Variabel	Volume rumen (ml)	Eceng Gondok (gram)	Kebutuhan urea (gram) / Rasio C:N			
			20	25	30	35
1	200	200	4,9			
2	200	200	4,8			
3	200	200		3,6		
4	200	200		3,6		
5	200	200			3,0	
6	200	200			3,0	
7	200	200				2,5
8	200	200				2,5



Gambar 1. Rangkaian Alat Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

[1] Pengaruh C/N Ratio

Dalam produksi biogas secara anaerobik, aktivitas mikroorganisme yang berperan selama proses fermentasi sangat tergantung dari rasio C/N. Dalam penelitian ini, substrat yang digunakan adalah limbah daun eceng gondok yang diambil di Rawapening, Tuntang, Kabupaten Semarang dengan ukuran kurang lebih 15 cm setiap daunnya. Sedangkan mikroorganisme yang digunakan adalah rumen sapi yang diambil di rumah potong hewan di Semarang.

Pada eceng gondok dengan rasio C/N 20 menghasilkan *yield* biogas pada

hari ke-6 pengukuran volume. Produksi biogas yang dihasilkan cenderung fluktuatif dengan volume gas terbesar dihasilkan pada hari ke-6 sebesar 181 ml. Pada hari ke-42 volume gas mengalami peningkatan sebesar 97 ml dan kembali menurun hingga 60 hari pengukuran. Nilai optimum pada hari ke-60 sebesar 1.728 ml.

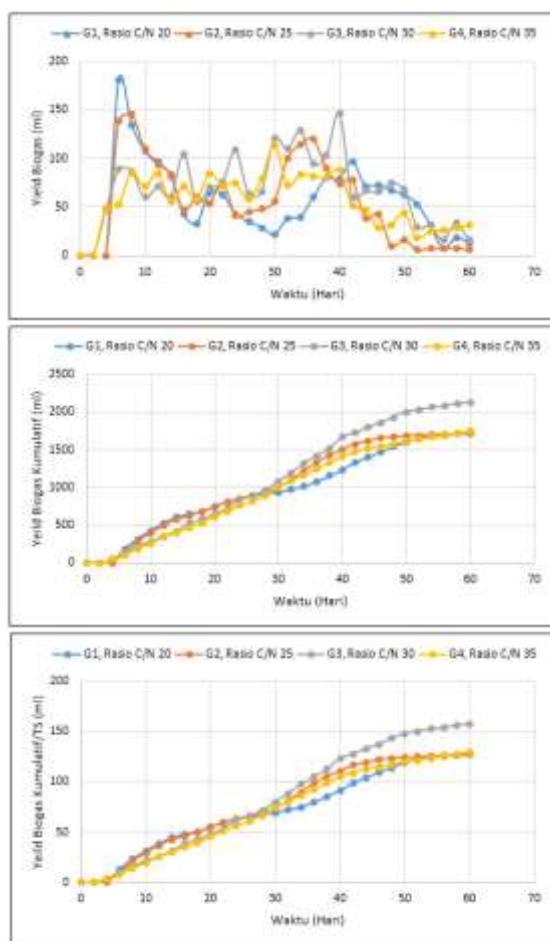
Rasio C/N 25, menghasilkan *yield* biogas pada hari ke-6 pengukuran dengan volume terbesar mencapai 146 ml pada hari ke-8. Volume gas kembali menurun hingga hari ke-50 pengukuran sebesar 10 ml. Pada hari ke-52 hingga 60 hari pengukuran, biogas yang dihasilkan cenderung statis dengan volume sekitar 7 ml. Total *yield* biogas yang dihasilkan selama 60 hari pengukuran sebesar 1.717,5 ml.

Pada rasio C/N 30, *yield* biogas dihasilkan pada hari ke-4 pengukuran dengan volume sebesar 47 ml dan mengalami peningkatan pada hari ke-6 dengan volume maksimum sebesar 89 ml. Produksi biogas yang dihasilkan cenderung fluktuatif dengan pengukuran pada hari ke-6 hingga hari ke-10 mengalami penurunan volume mencapai 60 ml dan mengalami peningkatan pada hari ke-16 sebesar 105 ml, hari ke-24 sebesar 109 ml, hari ke-34 sebesar 129 ml, dan hari ke-40 merupakan volume biogas maksimum sebesar 147 ml. Produksi biogas dengan rasio C/N 30 mencapai volume 2.130 ml.

Produksi biogas dengan rasio C/N 35 cenderung fluktuatif, dengan volume biogas pada hari ke-4 sebesar 48 ml dan mengalami peningkatan hingga hari ke-8 sebesar 86 ml. Pada hari ke-12, hari ke-16, hari ke-20 dan hari ke-30 pengukuran, volume biogas mengalami peningkatan berturut-turut sebesar 85 ml, 71 ml, 85 ml dan 133 ml. *Yield* biogas kumulatif yang dihasilkan selama 60 hari pengukuran sebesar 1.753 ml.

Eceng gondok pada rasio C/N 20, 25, 30 dan 35, *yield* biogas yang dihasilkan selama 60 hari pengukuran secara berturut-turut sebesar 127,811

ml/gr TS; 127,034 ml/gr TS; 157,544 ml/gr TS; dan 129,660 ml/gr TS.



Gambar 2. Produktivitas Biogas dari Eceng Gondok, (a). Pengukuran Harian, (b). *Yield* Biogas Kumulatif, (c). Kumulatif/satuan TS

Rasio C/N optimum terletak pada rasio C/N 30 dengan total produktivitas biogas sebesar 2.130 ml. Hal tersebut menunjukkan bahwa rasio C/N optimum dari penelitian ini masih berada pada range rasio C/N 20-30. Hal tersebut sesuai dengan Li *et al.*, (2011) yang menyatakan bahwa pada *anaerobic digestion* rasio C/N yang optimal sekitar 20-30.

Produksi biogas dari keempat *digester* dengan variabel berbeda bersifat fluktuatif karena mengalami kenaikan dan penurunan. Hal ini berkaitan dengan adanya fase pertumbuhan bakteri. Dimana ada empat

fase yaitu fase lag, fase eksponensial, fase stasioner, dan fase mati (Maier, 2009). Produksi biogas dari keempat *digester* meningkat setelah hari ke-10 dan hari ke-14, hal ini sesuai dengan Privce and Paul, 1981 yang berpendapat bahwa proses fermentasi memerlukan waktu 7 sampai 10 hari untuk menghasilkan biogas dengan suhu optimum 35 °C dan pH optimum pada range 6,4 – 7,9.

[2] Laju Produksi Biogas dari Eceng Gondok dengan Metode L-AD

Mengasumsikan bahwa laju produksi biogas di dalam biodigester sebanding dengan laju pertumbuhan spesifik mikroorganisme metanogenik di dalam biodigester. Maka laju produksi biogas akan mengikuti Persamaan Gompertz (Nopharatana *et al.*, 2007). Persamaan ini merupakan model matematis untuk pengamatan *time series*, yaitu pertumbuhan paling lambat pada saat awal dan akhir periode waktu pengamatan yang memiliki bentuk umum persamaan sebagai berikut.

$$P = A \cdot \exp \left\{ - \exp \left[\frac{Ue}{A} (\lambda - 1) + 1 \right] \right\}$$

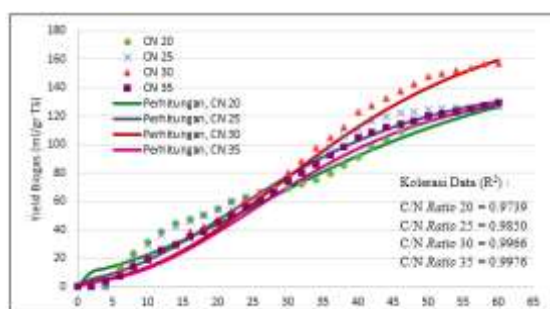
- P = produksi biogas kumulatif, liter
A = produksi biogas maksimum, liter
U = konstanta laju produksi biogas maksimum (liter/hari)
 λ = lama lag phase (waktu minimum terbentuknya biogas), hari
t = waktu kumulatif untuk produksi biogas, hari
e = bilangan Euler (e = 2.7182...)

Pada Tabel 2 dan Gambar 3 menunjukkan bahwa C/N *Ratio* memberikan pengaruh terhadap konstanta kinetika produksi biogas dengan bahan baku eceng gondok. Secara berturut-turut konstanta kinetika produksi biogas adalah sebagai berikut, dengan (A) yaitu produksi biogas harian, (U) laju produksi biogas, dan (λ) waktu minimum terbentuknya biogas. Untuk

C/N Ratio 20 adalah 161,124 (ml/gr TS); 2,493 (ml/gr TS.hari), dan 0,424 hari. Sedangkan pada C/N Ratio 25 adalah 144,303 (ml/gr TS); 3,180 (ml/gr TS.hari), dan 3,323 hari. Kemudian C/N Ratio 30 adalah 191,423 (ml/gr TS); 3,754 (ml/gr TS.hari), dan 7,463 hari. Dan untuk C/N Ratio 35 adalah 144,457 (ml/gr TS); 3,214 (ml/gr TS.hari), dan 6,107 hari.

Tabel 2. Konstanta Kinetika pada Pengaruh C/N Ratio terhadap Produksi Biogas

Variabel	A (ml/g TS)	U (ml/g TS.hari)	λ (hari)
C/N 20	161,124	2,493	0,424
C/N 25	144,303	3,180	3,323
C/N 30	191,423	3,754	7,463
C/N 35	144,457	3,214	6,107

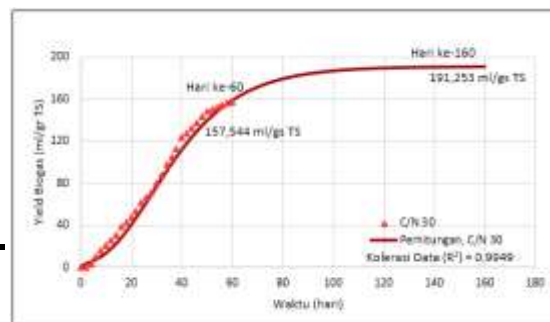


Gambar 3. Hubungan antara Data Percobaan dan Hasil Perhitungan pada Penelitian Pengaruh C/N Ratio terhadap Produksi Biogas

Dari data di atas dapat disimpulkan bahwa C/N Ratio memiliki pengaruh nyata terhadap produksi biogas dengan bahan baku eceng gondok. Variasi C/N Ratio 30 memberikan laju produksi biogas paling baik dibandingkan dengan variabel C/N Ratio lainnya, dengan yield biogas yang dihasilkan sebesar 191,423 ml/gr TS dengan konstanta laju produksi biogas sebesar 3,754 ml/gr TS.hari serta awal terbentuknya biogas pada hari ke-7,463.

Setelah dilakukan perhitungan dengan Polymath 6.0, dapat diketahui yield biogas maksimum yang diproduksi serta hari maksimum untuk

menghasilkan biogas hingga tidak menghasilkan biogas. Berikut ini adalah grafik laju produksi biogas dengan variabel yield tertinggi yaitu pada C/N Ratio 30 yang ditunjukkan pada Gambar 4 di bawah ini.



Gambar 4. Data Hasil Perhitungan pada Penelitian Pengaruh C/N Ratio 30 terhadap Produksi Biogas

Dari data hasil perhitungan di atas, yield biogas maksimum pada C/N Ratio 30 adalah sebesar 191,253 ml/gr TS dan dicapai pada hari ke-160. Namun pada hari ke-100 produksi biogas harian tidak signifikan lagi, yaitu hanya sebesar $\pm 0,46$ ml/gr TS.hari yield biogas sebesar 187,296 ml/gr TS. Produksi biogas akan cenderung terus menurun hingga hari ke-160. Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa pada hari ke-100 pada dasarnya produksi biogas sudah berhenti. Fakta ini dapat digunakan untuk merancang *biodigester* L-AD dari eceng gondok secara kontinyu dengan waktu tinggal selama 100 hari.

Setelah dilakukan permodelan pada rasio C/N 30, didapatkan yield biogas sebesar 191,253 ml/gr TS. Sehingga ketika terdapat eceng gondok sebanyak 1 Ton, dapat menghasilkan biogas sebanyak 191.253.000 ml atau 191,253 m³. Jika dikonversi dalam bentuk energi yang lain, bahwa 1 m³ biogas setara dengan 4,7 kWh maka akan dapat menghidupkan lampu 100 watt selama 1.147,518 jam, atau menjalankan motor 1 HP selama 382,506 jam, dan jika dijadikan potensi energi listrik dapat menghasilkan 898,889 kWh/hari dengan daya keluaran



sebesar 37,454 kW. Serta masih banyak lagi pemanfaatan yang dapat dilakukan seperti pengganti minyak tanah dan sumber tenaga penggerak mesin.

PENUTUP

Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil penelitian terhadap pengaruh rasio C/N terhadap produktivitas biogas, rasio C/N optimum terdapat pada rasio C/N 30.
2. Laju produksi biogas terbesar terdapat pada rasio C/N 30 dengan konstanta produksi harian (A) sebesar 191,423 ml/ gr TS dengan waktu minimum terbentuknya biogas (λ) sebesar 7,463 hari pada konstanta laju produksi biogas (U) sebesar 3,754 ml/ gr TS.hari.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Abdullah M.A. Nurmi dan Jamin F.S. 2014. *Respon Pertumbuhan Dan Produksi Jagung Manis (Zea Mays Saccharata) Pada Berbagai Pemberian Bokashi Eceng Gondok Dan Phonska*. kim.ung.ac.id/index.php/KIMFIIP/article/download/4667/4643, akses tanggal 8 Oktober 2016.
- [2] Arts, R., 1996. *Nutrient resorption from senescing leaves of perennials: are there general patterns?* J. Ecol. 84, 597–608.
- [3] Astuti, N. 2013. *Potensi Eceng Gondok (Eichhornia crassipes (Mart.) Solms) Rawapening untuk Biogas dengan Variasi Campuran Kotoran Sapi (Tesis)*. Magister Ilmu Lingkungan, Universitas Diponegoro.
- [4] *Blueprint Pengelolaan Energi Nasional 2006-2025*. 2006. *Blueprint Pengelolaan Energi Nasional*. Jakarta.
- [5] Budiyono., Putri, D. A., Saputro, R, R. 2012. *Biogas Production From Cow Manure*. International Journal Of Renewable Energy Development. 61-64
- [6] Fry, L. J. 1974. *Practical Building of Methane Power Plants for Rural Energy Independence*. California: Standard Printing Santa Barbara.
- [7] Kristanto B. A, Purbajanti E.D, dan Anwar S. 2003. *Pemanfaatan Enceng Gondok (Eichornia carssips) Sebagai Bahan Pupuk Cair*. <http://eprints.undip.ac.id/>, akses tanggal 8 Oktober 2016
- [8] Li, Y., Park, S.Y., Zhu, J. 2011a. *Solid-state anaerobic digestion for methane production from organic waste*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15(1), 821–826.
- [9] Maier, R. M. 2009. *Environmental Microbiology: Review of Basic Microbiological Concepts*. Academic Press.
- [10] Manzoni, .S., et al. 2010. *Stoichiometric controls on carbon, nitrogen, and phosphorus dynamics in decomposing litter*. Ecological Society of America. 80 (1). 89-106.
- [11] National Academy of Science. 1976. *Making Aquatic Weeds Useful: Some Perspectives for Developing Countries*. National Academy of Science. Washington DC.
- [12] Nopharatana, A. Pullammanappallil, P. C. Clarke, W. P. 2007. *Kinetics and dynamic modelling of batch anaerobic digestion of municipal solid waste in stirred reactor*. Waste Management. 27. 595-603.
- [13] Priyanto. 2014. *Gas Alam Bakal Jadi Energi Utama Industri*



- Nasional. Retrieved 2015, from kemenperin.go.id:
<http://kemenperin.go.id/>, akses tanggal 8 Oktober 2016.
- [14] Radjaram, B., dan Saravane, R. 2011. *Assesment of optimum dilution ratio for biohydrogen production by anaerobic co-digestion of press mud with sewage and water*. *Bioresource Technology*, 102, 2773-2780.
- [15] Rochyati. 1988. *Peranan bahan organik dalam meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk dan produktivitas tanah*. hlm. 161-180. *Dalam Prosiding Lokakarya*
- [16] Sittadewi, E.H. 2007. *Pengolahan Bahan Organik Eceng Gondok Menjadi Media Tumbuh Untuk Mendukung Pertanian Organik*. *J. Tek. Ling.* 8 (3). 229-234.
- [17] Taheruzzaman, Q., Kushari, D.P., 1989. *Evaluation of some common aquatic macrophytes cultivated in enriched water as possible source of protein and biogas*. *Hydrobiologia* 23, 207–212.
- [18] Teghammar, A., Forgacs, G., Sarvari Horvath, I., & Taherzadeh, M. J. 2013. *Techno-economic study of NMMO pretreatment and biogas production from forest residues*. *Applied Energy*, 116, 125–133.
- [19] Wahyuni, S. 2009. *Biogas -cet. 1*. Penebar Swadaya. Jakarta.
- [20] Wardini. 2008. *Analisis Kandungan Nutrisi pada Eceng Gondok (Eichhornia crassipes (Mart.) Solms) sebagai Bahan Pakan Alternatif bagi Ternak*. http://digilib.itb.ac.id/gdl.php?mod=browse&op=read&id=jbptitbpp-gdl_course_2001-r-631-sme. diakses tanggal 8 Oktober 2016.
- [21] Yang, L., Huang, Y., Zhao, M., Huang, Z., Miao, H., Xu, Z., & Ruan, W. 2015. Enhancing biogas generation performance from food wastes by high solid thermophilic anaerobic digestion : Effect of pH adjusment. *International Biodeterioration dan Biodegradation*, 153-159.